

Matlab Simulink를 이용한 선형 유도전동기의 속도제어특성

김성결, 니종덕, 조금배, 백형래
조선대학교

The Simulation of Constant Speed Control Characteristics for Linear Induction Motor using Matlab Simulink

Kim Seong Kyeol, Na Jong Duk, Cho Geum Bae, Baek Hyung Lae
Chosun University.

Abstract - In difference with the rotary type electrical machinery, the linear induction motor(LIM) that generates the direct thrust directly, is widely used for the operation system of electrified railroad, elevation system, conveyer system, and so on. The operational principle of linear induction motor is constructively similar to the general rotary induction motor which is applied SVPWM system, but widely used in vector motor control system or servo control system because of its high performance in current control. In this paper, we presented the dynamic characteristic analyzing method, and calculated efficiently the end effect by using equivalent circuit method in the operating linear induction motor control system for Matlab simulink modeling.

2. SLIM 등가회로

리니어 인덕션모터에서는 1차측이 이동함에 따라 2차측은 포화되지 않는 새로운 도체판 및 back-iron 으로 연속해서 대체된다. 이동자가 이동하면서 대체되는 2차측은 자속의 투과를 방해하는 방향으로 자속을 급속히 증가시키는 성질을 지니면서 또한 공극 내의 자속밀도를 점진적으로 포화시키는 역할을 한다.

단부효과에 의해 발생하는 와전류의 형성 및 자속의 변화 형태를 위한 구조를 그림 1 에 나타내었다.

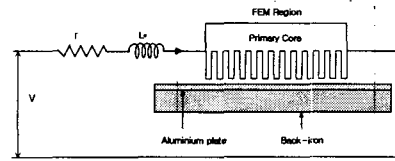


Fig. 1 Configuration of linear induction motor model

1. 서 론

기계적인 변환장치 없이 직접 직선구동이 가능하고 자기 부상 시에는 비접촉 및 저소음 운전이 가능할 뿐만 아니라 직선운동을 하는 시스템에서는 크랭크, 기어 등의 기계적인 변환장치를 필요로 하지 않기 때문에 시스템의 전체적인 효율이 좋아지므로 로프리스 엘레베이션 등의 구동장치로서 더욱 활발히 응용될 전망이다.^[1,2]

리니어 인덕션모터는 구조상으로 1차측 길이 방향이 유한하여 입구단과 출구단에서의 자속이 불균형하게 되는 종방향 단부효과가 발생하게 되며 1차측 이동자재에 의해 평판 도체로 구성된 2차측에 유기되는 와전류 성분 중 자속의 진행방향과 같은 성분이 존재하기 때문에 유효 공극 길이의 증가와 자속의 왜곡 등 횡방향 단부효과가 발생한다. 또한 1차측과 2차측 사이에서 발생하는 수직력은 종방향 단부효과와 횡방향 단부효과와 함께 회전기에서는 발생하지 않는 특성을 지니고 있다. 그러므로 리니어 인덕션모터를 정확히 해석하기 위해서는 이들 현상들이 모두 명확하게 고려되어야 한다.^[3-5]

수치해석 방법을 사용함으로써 선형유도전동기의 단부효과를 포함시킨 특성해석은 어느 정도 파악할 수 있게 되었으나 이를 직접 제어시스템과 결합하여 사용하기 위해서는 순시적으로 변화하는 전원에 대한 모델링과 해석 영역의 이동에 따르는 변화를 빠른 시간 내에 모의할 수 있는 해석 기법이 또한 요구된다.^[6]

본 논문에서는 선형유도전동기의 순시 속도에서의 1, 2차 상대 위치이동으로 나타나는 동 특성과 이 때의 단부효과를 고려한 등가회로 해석방법을 이용하여 시스템을 모델링하고 SVPWM 구동시스템에 적용한 정속도 제어 특성을 부하조건에 따른 동작특성으로 시뮬레이션하여 그 적용 가능성을 입증하였다.

2-1. 단부효과를 고려한 선형유도전동기 모델링

편축형 선형유도전동기의 1차측 이동자 전압 V_r 를 동기좌표의 d-q 성분으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$V_{dr} = r_r i_{dr} + r_r f_{(q)} (i'_{dr} + i''_{dr}) + p \lambda'_{dr} - \omega_r \lambda''_{dr} \quad (1)$$

$V_{qr} = r_r i_{qr} + p \lambda'_{qr} + \omega_r \lambda''_{qr}$, 여기서 e 는 동기좌표 동기속도 ω_r 로 움직이는 좌표상에서 ω_r 로 이동하는 이동자의 속도를 관찰하면 $\omega_r - \omega_s = \omega_{tr}$ 의 상대속도로 움직이는 것처럼 보이므로 2차측 도체 전압 V_r 을 동기좌표 성분으로 나타내면 식 (2)과 같다.

$$V_{dr} = r_r [i'_{dr} + f_{(q)} (i'_{dr} + i''_{dr})] + p \lambda'_{dr} \quad (2)$$

편축형 선형유도전동기의 동기 좌표방정식에서 1차측 이동자 자속 및 2차측 자속은 식 (3) 및 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda'_{dr} = L_b i'_{dr} + L_m (1-f_{(q)}) (i'_{dr} + i''_{dr}) \quad (3)$$

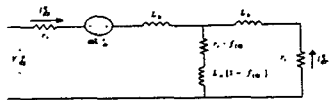
$$\lambda''_{dr} = L_b i''_{dr} + L_m (i'_{qr} + i''_{qr}) \quad (4)$$

$$\lambda'_{qr} = L_m (1-f_{(q)}) (i'_{dr} + i''_{dr}) + L_b i'_{dr} \quad (5)$$

2차측 도체전압은 0이므로 행렬식 (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_{dr} \\ V_{qr} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_r + r_r f_{(q)} + L_b + p L_m (1-f_{(q)}) & -\omega_r (L_b + L_m) & r_r f_{(q)} + L_b (1-f_{(q)}) & \omega_r L_m \\ \omega_r (L_b + L_m (1-f_{(q)})) & r_r + p (L_b + L_m) & \omega_r (1-f_{(q)}) & p L_m \\ r_r f_{(q)} + L_b (1-f_{(q)}) & L_m & r_r (1-f_{(q)}) + L_b + p L_m (1-f_{(q)}) & L_b + L_r \\ \omega_r (\omega_r L_m (1-f_{(q)})) & L_m & \omega_r (\omega_r L_m - L_r) & r_r - L_m + L_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_{dr} \\ i''_{dr} \\ i'_{qr} \\ i''_{qr} \end{bmatrix} \quad (5)$$

그림 2는 식 (5)에 따라 1차측 이동자가 이동하면서 발생하는 단부효과를 고려한 편축형 선형유도전동기 동기좌표에서 나타낸 등가회로이다.



d-axis equivalent circuit



q-axis equivalent circuit

Fig. 2 Equivalent circuit considering end effect

3. 시스템 시뮬레이션

3-1. 시스템 모델링

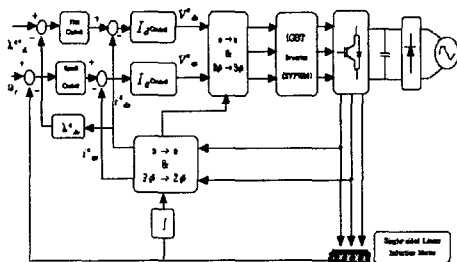


Fig. 3 Modeling of LIM using SVPWM

그림 3은 시스템 모델링 전체 구성도를 나타낸 것이다. 전력변환장치로서 AC-DC-AC 컨버터를 가정하는 경우 전원측 컨버터와 부하측 컨버터로 구분할 수 있으나 직류 링크단에 대용량 커패시터를 설치하는 경우 실용적인 측면에서 맥동성분을 고려하지 않아도 되며, 단상 AC 220 [V]의 상용전원을 입력으로 하면 무부하시 직류 링크단 전압이 약 310 [V]이므로 전원측 컨버터는 부하에 의한 전압강하를 고려하여 DC 300 [V]의 이상적인 전원으로 대체하였다. 부하측 컨버터는 스위칭 손실이 없는 이상적인 컨버터로 가정하고 선형제어범위가 넓은 공간 벡터 펄스폭변조방식에 의해 출력전압이 발생하도록 모델링하였다.

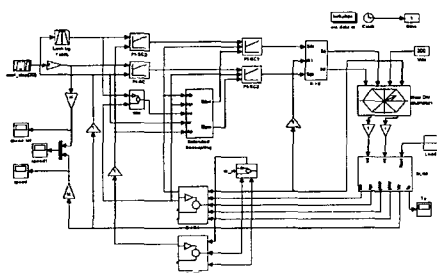
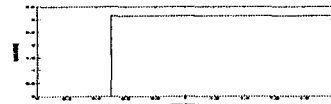


Fig. 4 Block diagram of LIM in matlab simulink

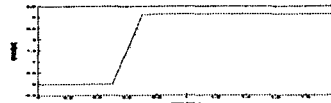
Table 1. System parameter for simulation

r_s	1.35	L_r	32.8
r_r	3.2	J	0.6
L_s	40.1	N_p	4
L_m	32.8	Q	23.3/v

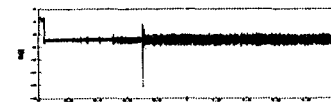
3-2 일정부하시 정속도 제어



(a) reference speed



(b) Motor speed



(c) d-axis current

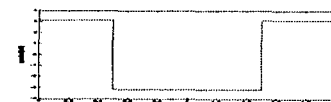


(d) q-axis current

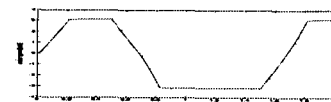


(e) Motor current

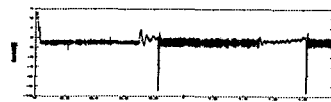
Fig. 5 Dynamic characteristics of no variation load at reference speed 2 [m/s]



(a) Reference speed



(b) Motor speed



(c) d-axis current

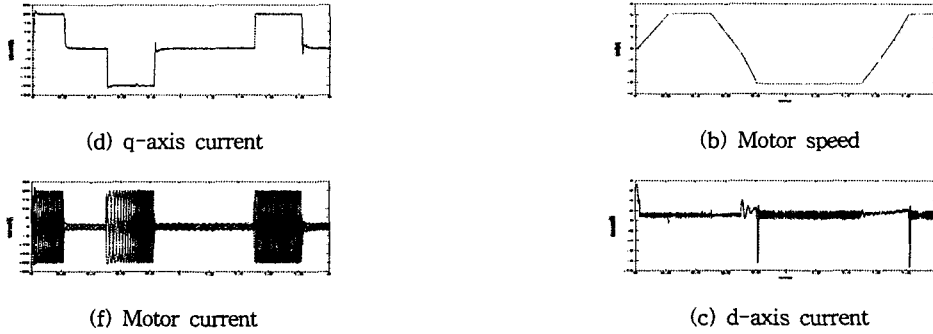


Fig. 6 Dynamic characteristics of no variation load at reference speed ± 2 [m/s]
3-3. 부하 가변시 정속도 제어



Fig. 7 Dynamic characteristics of variation load at reference speed 2[m/s]

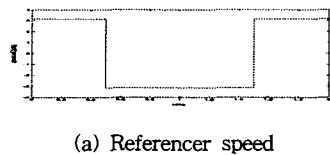


Fig. 8 Dynamic characteristics of variation load at reference speed ± 2 [m/s]

4. 결론

단부 효과의 영향을 포함한 리니어 인덕션모터 등가회로를 통한 모델링을 하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 기준속도에 대한 출력속도는 이동자가 기준속도로 추종하기까지의 과도시간과 일치하였고 자속이 변함에 따라 출력을 안정시키는 결과를 가져왔다. 또한 정지상태에서 정상상태에 도달하는 속도의 출력이 정상에 도달후 안정된 속도출력을 내었다.

이상으로 본 논문에서는 리니어 인덕션모터의 순시 속도에서의 1, 2차 상대 위치이동으로 나타나는 동 특성과 단부효과를 고려한 해석의 영향이 제어기의 수행이 어긋나지 않음을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Kim, K. I. Woo, B. I. Kwon " Implimentation of indirect field oriented control of linear induction motor using voltage source inverter ", ICEE'99, pp.263 266, 1999
- [2] Ludvik Kumin, Gorazd Stumberger, Drago Dolinar " Modeling and control of a linear induction motor ", ISIE'99, pp. 963 967, 1999
- [3] James N. Nash, "Direct Torque Control. Induction Motor Vector Control Without an Encoder". IEEE Trans. on IA. vol. 33. No. 2, pp. 333-3341, May/Apr. 1997
- [4] J. F. Gieras " Linear Induction Dr.ves", Clarendon Press, 1994
- [19] 野中作太郎, 林 清美, 吉田編二郎, "인소바타 驅動による高速 리ニア모타의 推力特性", 九大工學集報, 第46卷, 第2号, pp102 108, 1987
- [5] Boldea, S. A. Narsar " Linear motion electromagnetic systems ", John Wiley & Sons, 1985
- [6] 水野孝行, 九光行正, 市岡忠土, 編田孝, "리니아誘導모타의 拘束試驗に基づく始動特性 算定法", T,IEE Japan, Vol,112-D, No.2, pp172 180, 1992